

# 磁化または密度境界がはっきりしているときの地下構造逆解析

坂中 伸也(秋田大学大学院国際資源学研究科)

## An attempt to inverse calculation for subsurface structure with sharp boundaries in magnetic or gravity survey

Shin'ya SAKANAKA (Graduate School of Engineering and Resource Sciences, Akita University)

### Motivation and Purpose

磁気探査や電磁探査でも構造境界がはっきり出るような地下構造解析ツールも欲しい！  
—可能であれば手軽に使えるインバージョン的な方法で—

地下構造の本質的な特徴を示しながらも単純で直感的な特徴を理解しやすいモデルを構築することが目標。現代的な平滑化条件などをもとにした、劣決定逆解析によるモデル計算ではなく、地下構造の形状をより単純化し、構造境界がはっきりした構造解析を目指す。基本的な戦略はグリッドサーチであるが、より効率的に計算できる方法を考案し、計算時間の短縮を図る。

手元には軽石質凝灰岩にデイスイトが貫入した秋田県大仙市土川杉沢地区での地上物理探査データがある。同一のフィールドでプロトン磁力計による磁気探査、重力探査、およびループ法による電磁探査の測定値が得られている。これらのデータを利用することを念頭に、単純化した逆解析モデル化方法のアルゴリズムを考える。最初は、磁化、密度、電気伝導度(比抵抗)といった物理パラメータの値が凝灰岩とデイスイト貫入岩の2つだけしかないものと仮定する。

一様な凝灰岩中に火山岩が貫入した地下構造を解析することを頭に入れて話をすすめる。ここでは地下構造を構成する微小ブロックの数はある程度多めに設定するが、取りうるパラメータの値を2つに絞る方法を考えることとする。

**Procedure 1** — 地下構造を微小ブロックに分割  
地下を直方体に分割する。直方体を小さくすれば、地下磁性体の詳細な形状を決めることができる。

**Procedure 2** — 近接するブロック情報のテーブル作成  
それぞれの直方体に番号をつけ、近接する直方体番号のテーブルを作成。

**Procedure 3** — 2つのパラメータ値の設定  
軽石凝灰岩(例: 磁化  $m_0 = 0.05 \text{ A/m}$ )、デイスイト(例: 磁化  $m_1 = 5 \text{ A/m}$ )の磁化の初期値を決める。ここではバックグラウンドを軽石凝灰岩と考え、スタートモデルは全ての地下直方体の磁化を軽石凝灰岩の一様モデルとする。

**Procedure 4** — 一様モデルでの初期残差二乗和の計算  
凝灰岩 - デイスイトモデルであれば、まずは凝灰岩  $0.05 \text{ A/m}$  の一様モデルで観測値と理論(計算)観測値の残差二乗和を計算しておく。

**Procedure 5** — シードブロックの設定  
磁化  $m_0$  (軽石凝灰岩を想定) の一様モデルのうちのひとつのブロックを選び、そのブロックの磁化を  $m_1$  (デイスイトを想定) に変更する。このスタートブロックをここではシードブロックと呼ぶことにする。  $m_0 \Rightarrow m_1$  に変更したとき測定値と計算値の残差二乗和が減少したときのみシードブロックを採用。いろいろなシードを試す。

**Procedure 6** — 構造モデルを成長させる  
ひとつのシードブロックが採用されれば、隣り合うブロック番号をサーチし、隣のブロックに対して  $m_0 \Rightarrow m_1$  で残差二乗和が小さくなるかチェック。残差二乗和が小さくなる限り、磁化  $m_1$  のブロックを増やしてゆく。残差二乗和が小さくならなくなれば  $m_1$  ブロックの塊の成長を終える。

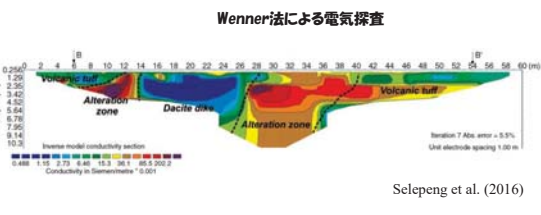
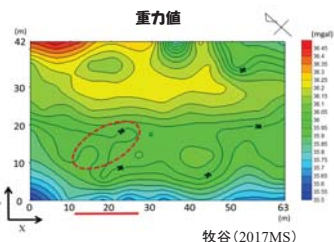
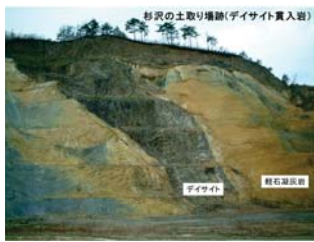
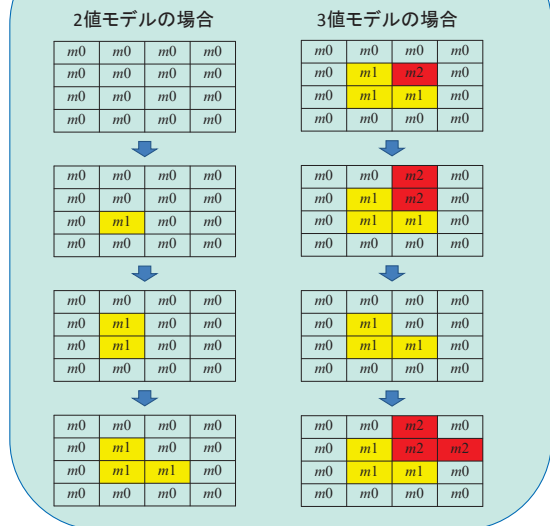
**Procedure 7** — パラメータ値の見直し  
各測点での磁気異常は以下のような式の形になっている。

$$f_i = m_0 \sum_{j=1}^{n(m_0)} (m_0 \text{磁化ブロックの寄与}) + m_1 \sum_{j=1}^{n(m_1)} (m_1 \text{磁化ブロックの寄与}) + \text{bias}$$

$m_0$ ,  $m_1$ ,  $\text{bias}$  を未知パラメータとする線形最小二乗法でこれらの最適値を計算することができる。 $\text{bias}$  とした値は広範囲の磁気探査だとGRFを用いて定めることもできる。新たな磁化の値を用いて  $m_1$  ブロックの成長計算を繰り返す。

磁気探査であれば、例えば貫入岩の磁化を  $5 \text{ A/m}$ 、凝灰岩の磁化を  $0.05 \text{ A/m}$ 、重力探査であれば貫入岩の密度を  $2.4 \text{ g/cm}^3$ 、凝灰岩の密度を  $1.3 \text{ g/cm}^3$ 、電気・電磁探査であれば貫入岩の電気伝導度を  $1 \text{ mS/m}$ 、凝灰岩の電気伝導度を  $100 \text{ mS/m}$  などとあらかじめ固定する。スタートモデルを凝灰岩一様モデルとし、その中の1個のブロックを貫入岩のパラメータに変更し、観測値との残差二乗和が一様モデルよりも小さくなればそのブロックのパラメータ変更を確定するものとする。この方法はそれぞれのブロックのパラメータをあたかもゼロゲームのようにパラメータを変更しながら残差二乗和が小さくしていくイメージとなる。ただ、このような計算ではブロックの数  $n$  個に対して、全ての組み合わせ、 $n!$  通りの計算をすることになり、計算時間がかかる。ここでは、貫入岩のパラメータをもつブロックに近接したブロックのみについてパラメータを貫入岩のものに変更するかどうかのチェックを繰り返すことにする。これは、計算の開始時に一部のブロックをシード (seed) として指定し、貫入岩の構造を成長させていくというアルゴリズムである。以下に磁気探査を想定したときのそれぞれの手順を説明する。

### 取りうるパラメータの数を少なくしたときのモデル計算のイメージ



### 全磁力異常一傾いた1個の直方体モデル

# geomagnetic inclination = 53.8° # geomagnetic declination = -8.2° # strike (clockwise azimuth from true north) = 315.3°  
# magnetization of a rectangular body 5.9A/m # center of rectangular block at (46.8, 8.7, 2.9) (unit: m)  
# side lengths of rectangular block  $\Delta x = 10.6, \Delta y = 16.7, \Delta z = 0.3$  (unit: m)  
# rotation angle in x-y plane (clockwise) 8.6° # dip angle in (new) x-z plane -3.8° # dip angle in (new) y-z plane 6.8°  
# overall bias 3.43574275053242nT

